

ANALISIS DURABILITAS *PERVIOUS CONCRETE* TERHADAP H₂SO₄ 2%, 4%, DAN 6% DENGAN MENGGUNAKAN CURING KARUNG GONI, WRAPPING, DAN AMBIENT

I. A. Nugroho¹, B.B. Adhitya^{1*} dan A. Costa¹

¹ Teknik Sipil, Universitas Sriwijaya, Palembang

^{1*} Corresponding author: bimo@unsri.ac.id

ABSTRAK: Seiring berkembangnya pembangunan yang terjadi pada era globalisasi ini, lahan tempat resapan air pun semakin berkurang sehingga dapat mengakibatkan peningkatan jumlah limpasan air permukaan dan berkurangnya cadangan air tanah. Untuk mengatasi permasalahan ini, solusi yang dapat dilakukan ialah dengan menggunakan *pervious concrete* yang dimana tingkat beton ini memiliki nilai permeabilitas yang tinggi. *Pervious concrete* merupakan beton yang ramah lingkungan dikarenakan memiliki nilai permeabilitas dan porositas yang tinggi, sehingga air dapat memasuki lapisan beton. Dengan menggunakan beton ini limpasan air permukaan dapat tersalurkan ke tanah sehingga cadangan air tanah pun tetap terjaga. Namun curah hujan di daerah Indonesia kebanyakan termasuk ke dalam kategori hujan asam dimana hal tersebut dapat merusak *pervious concrete*. Penelitian ini mengenai pengaruh ukuran agregat, dan variasi *curing* terhadap nilai kuat tekan, permeabilitas dan porositas. Penelitian ini juga membahas mengenai durabilitas *pervious concrete* terhadap H₂SO₄. *Curing* yang digunakan pada penelitian ini ada tiga yaitu, karung goni, *wrapping*, dan *ambient*. Sedangkan untuk ukuran agregat yang digunakan berukuran 19-12,5 mm dan 9,5-4,75 mm. Dari hasil penelitian ini kuat tekan dan densitas maksimum terdapat pada campuran Agregat kecil *curing wrapping* sebesar 8,3 MPa dan 1801,42 Kg/m³. Nilai porositas dan permeabilitas maksimum didapatkan pada campuran agregat kecil *curing ambient* yaitu sebesar 28,98% dan 1,485 cm/detik. Dari pengujian durabilitas semakin tinggi konsentrasi H₂SO₄ tersebut semakin mempengaruhi penurunan nilai kuat tekan yang terjadi. Pada konsentrasi 4% penurunan kuat tekan yang terjadi merupakan penurunan yang paling besar.

Kata kunci: *pervious geopolymer concrete*, kuat tekan, porositas, permeabilitas

ABSTRACT: Along with developments that occur in this era of globalization, land with reduced water absorption can result in an increase in the amount of surface water runoff and a decrease in groundwater reserves. To overcome this problem, the solution that can be done is to use *pervious concrete* where this concrete has a high permeability value. *Translucent concrete* is environmentally friendly concrete because it has a high permeability and porosity value, so that water can enter the concrete layer. By using this concrete surface water runoff can be channeled to the ground so that groundwater reserves are maintained. However, most of the rainfall in Indonesia is included in the category of acid rain which can damage water-permeable concrete. This research is about the effect of aggregate size, and variation of curing on the value of compressive strength, permeability and porosity. This study also discusses the durability of water-permeable concrete against H₂SO₄. There are three preservatives used in this study, namely burlap sacks, wrapping, and ambient. While the size of the aggregate used is 19-12.5 mm and 9.5-4.75 mm. From the results of this study, the maximum compressive strength and density in the mixture of wrapping aggregate with small curing were 8.3 MPa and 1801.42 Kg/m³. The maximum porosity and permeability values obtained in the ambient curing small aggregate mixture were 28.98% and 1.485 cm/second, respectively. From the durability test, the higher the concentration of H₂SO₄ the more it affects the decrease in the compressive strength value that occurs. At a concentration of 4% the decrease in compressive strength that occurs is the largest decrease.

Keyword: *pervious geopolymer concrete*, compressive strength, porosity, permeability

PENDAHULUAN

Seiring berkembangnya pembangunan yang terjadi pada era globalisasi ini, lahan tempat resapan air pun semakin berkurang sehingga dapat mengakibatkan peningkatan jumlah limpasan air permukaan dan berkurangnya cadangan air tanah (Adhitya et al, 2022). Untuk mengatasi permasalahan ini, solusi yang dapat dilakukan ialah dengan menggunakan pervious concrete yang dimana tingkat beton ini memiliki nilai permeabilitas yang tinggi.

Pervious concrete merupakan beton yang ramah lingkungan dikarenakan memiliki nilai permeabilitas dan porositas yang tinggi, sehingga air dapat memasuki lapisan beton. Dengan menggunakan beton ini limpasan air permukaan dapat tersalurkan ke tanah sehingga cadangan air tanah pun tetap terjaga. Contoh penggunaan dari pervious concrete adalah trotoar, lereng, lapangan parkir dan sebagainya. Salah satu material penyusun pervious concrete adalah agregat kasar. Gradasi dari agregat kasar akan mempengaruhi karakteristik dari suatu beton seperti kuat tekan, permeabilitas, dan kuat lentur. Dalam pembuatan pervious concrete harus menggunakan agregat kasar yang berukuran seragam atau dua ukuran agregat kasar agar permeabilitas dan porositas yang tinggi dapat tercapai serta kuat tekan yang diinginkan dapat tercapai.

Dalam pembuatan pervious concrete perlu dilakukan perawatan. Hal ini berguna untuk meningkatkan mutu pervious concrete. Metode yang dapat dilakukan untuk merawat pervious concrete adalah metode pembasahan menggunakan karung goni, wrapping, dan ambient (Kurniawan, 2016). Selain perawatan, durabilitas juga harus diperhatikan. Salah satu durabilitas yang diperlukan adalah ketahanan terhadap asam. Beton yang memiliki ketahanan terhadap asam dapat digunakan untuk konstruksi yang memiliki kadar asam di tempat lokasi pembangunannya. Berdasarkan data dari BMKG hujan yang terjadi di Indonesia rata-rata merupakan hujan asam.

TINJAUAN PUSTAKA

Pervious Concrete

Pervious concrete adalah beton yang memiliki nilai porositas yang tinggi, sehingga memungkinkan air dapat melewatinya. Beton konvensional dan *pervious concrete* memiliki perbedaan baik sifat fisik maupun sifat mekanik. Pada umumnya kuat tekan pervious concrete berkisar 2,8-28 MPa (Chambua et al, 2021). (ACI 522R10, 2010). Secara umum *pervious concrete* digunakan sebagai trotoar, lapangan parkir, bahu jalan, drainase, area kebun binatang, dan jalan dengan volume lalu lintas rendah.

Material Penyusun *Pervious Concrete*

Material penyusun pada *pervious concrete* hampir

sama dengan beton konvensional. *Pervious concrete* tidak memiliki agregat halus pada campurannya seperti beton konvensional (Ginting, 2017).

1. Semen

Semen merupakan salah satu material utama dalam pembuatan suatu beton. Semen berperan sebagai pengikat antar material. Apabila semen dan air akan menyebabkan suatu reaksi kimia yang menghasilkan pasta. Pasta akan mengikat agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus hingga terbentuk beton. Pada umumnya semen yang digunakan untuk mengikat beton adalah semen portland.

2. Air

Air merupakan salah satu bahan penyusun dalam pembuatan beton. Air akan bercampur dengan semen hingga membentuk suatu campuran yang dinamakan pasta. Jumlah air dalam campuran suatu beton mempengaruhi kecacakan, keawetan dan kekuatan beton tersebut. Penggunaan air yang banyak akan membuat beton mudah diaduk namun dapat menyebabkan kekuatan dari beton menurun.

3. Agregat

Dalam pembuatan suatu beton agregat merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai bahan pengisi (Irawan, 2014). Volume suatu beton sebagian besar terdiri dari agregat. Agregat dapat mempengaruhi sifat-sifat beton dan kekuatan dari beton tersebut, sehingga agregat yang digunakan dalam pembuatan harus memiliki mutu yang sesuai dengan standar dan perencanaan. Pada *pervious concrete* agregat yang digunakan adalah agregat kasar. Berdasarkan ACI 522R-10 (2010), Agregat yang digunakan dalam pembuatan *pervious concrete* memiliki batasan ukuran yaitu antara 3/4 inch dan 3/8 inch (19 mm dan 9.5 mm)

4. *Admixture*

Admixture merupakan bahan tambahan yang digunakan dalam pembuatan beton. *Admixture* dapat berbentuk cairan maupun bubuk yang ditambahkan ketika adukan sedang diolah atau ketika pengecoran.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sifat *Pervious Concrete*

1. Distribusi Ukuran Agregat

Distribusi ukuran butiran dari agregat. Jika butir agregat memiliki ukuran yang sama (seragam) maka volume pori besar. Jika butir agregat memiliki ukuran bervariasi maka volume pori kecil, karena butiran yang kecil mengisi pori diantara butiran yang lebih besar sehingga porinya sedikit dan kepampatannya tinggi. Besar ukuran maksimum agregat mempengaruhi kuat tekan betonnya. Agregat yang berukuran besar mempunyai luas permukaannya lebih sempit sehingga lekatan antara permukaan agregat dan pastanya kurang kuat (Hanova et al, 2018).

2. Faktor Air Semen (*w/c*)

Faktor air semen adalah ratio perbandingan antara air dan semen dalam suatu campuran beton. Faktor air semen sangat mempengaruhi sifat-sifat beton. Apabila penggunaan faktor air semen terlalu banyak akan menyebabkan campuran menjadi lebih mudah diaduk

namun akan menyebabkan kekuatan dari beton tersebut menurun (Joshi dan Dave, 2016). Pengalaman telah menunjukkan bahwa faktor air semen pada rentang 0,26 sampai 0,45 merupakan nilai faktor air semen yang optimum karena pada rentang tersebut agregat terlapisi dengan baik dan memberikan kestabilan pada pasta (Desmaliana et al, 2018).

Pengujian Pervious Concrete

1. Kuat Tekan (*Compressive Strength*)

Kuat tekan beton diartikan sebagai suatu besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur apabila benda uji tersebut diberikan tekanan tertentu oleh mesin tekan. Pengujian kuat tekan dihitung dengan rumus:

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

f_c = Kuat tekan dari benda uji (MPa)

P = Beban (N)

A = Luas penampang sampel (mm²)

2. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemudahan dari suatu beton untuk dilalui oleh air. Apabila suatu beton dapat dilalui oleh air maka beton tersebut dikatakan *permeable*, sedangkan apabila suatu beton tidak dapat dilalui oleh air maka beton tersebut dikatakan *impermeable*. Salah satu pengujian untuk permeabilitas adalah dengan menggunakan falling head (ACI 522R-10, 2010). Permeabilitas dari pervious concrete dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$k = \frac{A_1 \times L}{A_2 \times t} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

Keterangan:

A₁ = Luas penampang dari sampel

A₂ = Luas penampang dari tabung

L = Panjang spesimen sampel silinder

t = Waktu air dari h₁ ke h₂

h₁ = Tinggi awal permukaan air

h₂ = Tinggi akhir permukaan air

3. Porositas

Porositas diartikan sebagai perbandingan antara volume rongga udara dengan total volume benda uji. Berdasarkan ACI 522R-10 (2010) dengan menghilangkan agregat halus pada campuran pervious concrete dapat menghasilkan porositas sebesar 15%-35%. Nilai dari porositas bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$P = \left[1 - \left(\frac{W_1 - W_2}{P_w V} \right) \right] \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

P = Porositas (%)

W₁ = Berat sampel setelah dikeringkan (kg)

W₂ = Berat sampel dalam air (kg)

V = Volume sampel (m³)

P_w = Massa jenis air (kg/m³)

4. Curing

Curing adalah suatu kegiatan yang dilakukan ketika beton sudah mulai mengeras untuk menjaga beton dari kehilangan air akibat reaksi panas hidrasi yang terjadi pada beton. *Curing* memegang peran penting dalam pengembangan daya tahan beton dan keawetan beton. Beton harus dilakukan *curing* selama 7 hari untuk beton normal, sedangkan 3 hari untuk beton yang memiliki kuat tekan awal tinggi. Berikut ini merupakan beberapa metode dari curing yang umum digunakan pada beton:

1. Perawatan dengan pembasahan
2. Perawatan dengan penguapan / steam
3. Perawatan dengan menggunakan membrane

5. Durabilitas

Durabilitas adalah daya tahan suatu beton terhadap suatu kondisi tanpa mengalami kerusakan dalam jangka waktu tertentu. Durabilitas pada beton dapat dipengaruhi oleh pengaruh fisik seperti pembekuan dan mencair pasta, sulfat, ataupun pengaruh kimia yang lainnya. Semakin banyak cairan yang masuk ke dalam beton semakin melemah durabilitas dari suatu beton yang pada akhirnya menyebabkan kehancuran pada beton.

6. Standar ACI

Standar ACI 522R-10 adalah standar yang digunakan dalam merancang suatu pervious concrete. Di dalam ACI 522R-10 terdapat ketentuan dari karakteristik dan komposisi yang digunakan dalam perencanaan pervious concrete sebagaimana ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 1 Ketentuan komposisi material pervious concrete

No	Komponen	Proporsi (kg/m ³)
1	Semen	270 - 415
2	Agregat	1190 - 1480
3	w/c	0,27 - 0,34
4	a/c	4 - 45:1
5	Rasio agregat halus / agregat kasar	0 - 1:1

Sumber: ACI 522R-10

METODOLOGI

Berikut ini merupakan diagram alir yang akan digunakan sebagai langkah-langkah dalam penelitian.

kasar, berat agregat kasar setelah penumbukan dan berat agregat kasar pada kondisi ssd.

Tahap III

Tahap ketiga adalah penyusunan komposisi campuran yang akan digunakan untuk membuat pervious concrete. Penyusunan komposisi dilakukan dengan menggunakan data-data dari studi literatur yang sudah dikumpulkan dan ACI 522R-10 sebagai acuannya. Yang pertama harus dilakukan adalah dengan menentukan berat volume dari agregat yang digunakan. Berat volume diperoleh dari pengujian properties yang sudah dilakukan. Kemudian menentukan berat volume agregat dalam keadaan SSD. Berat volume SSD juga didapatkan ketika melakukan pengujian properties agregat. Selanjutnya adalah menentukan volume pasta yang didapatkan dengan menggunakan grafik hubungan void content dan paste content yang berada di ACI 522R-10. Selanjutnya menentukan berat semen yang digunakan dimana nilai w/c yang digunakan adalah 0,3. Di dalam ACI 522R-10 untuk menentukan berat semen dapat menggunakan rumus pada persamaan 4.

$$c = [Vp / (0,315 + w/cm)] \times 1000 \text{ kg/m}^3 \tag{4}$$

Keterangan:

- c = Berat semen (kg/m³)
- vp = Volume pasta
- w/cm = Faktor air semen

Langkah selanjutnya adalah menentukan berat air yang akan digunakan pada campuran. Berat air didapatkan dengan menggunakan rumus pada persamaan 5.

$$w = c(w/cm) \tag{5}$$

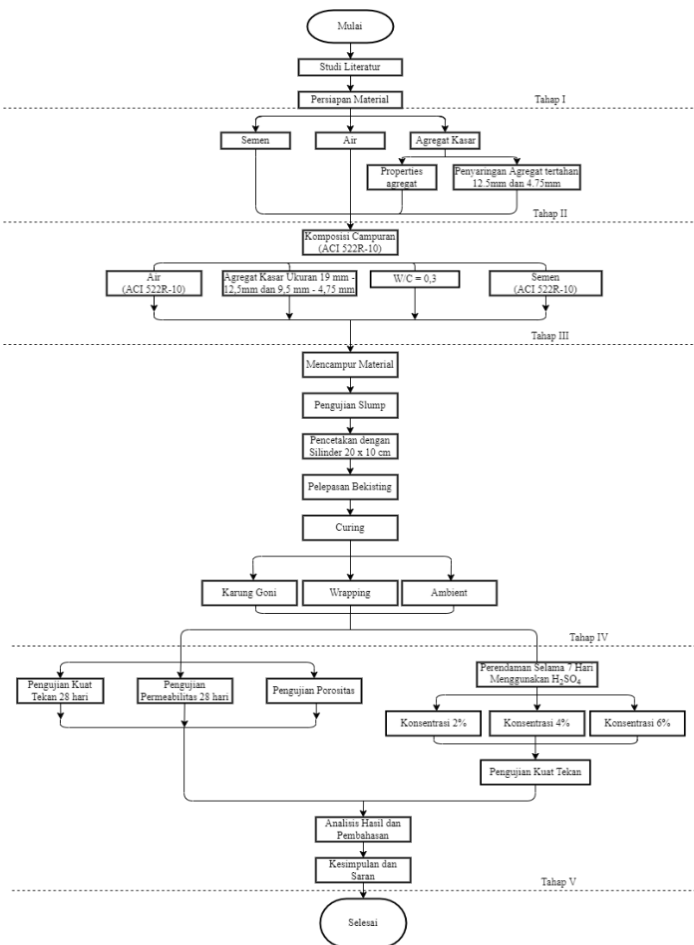
Keterangan:

- w = Berat air
- c = Berat semen
- w/cm = Faktor air semen

Langkah selanjutnya adalah menentukan komposisi mix design yang akan digunakan pada penelitian. Komposisi yang telah dihitung dengan menggunakan rumus diatas adalah komposisi mix design dalam volume satu meter kubik.

Tabel 2 *Mix Design* yang digunakan

Material	Total Berat yang Digunakan
Semen	227.6422764
Air	68.29268293
Agregat Kasar Ukuran 19 - 12,5 mm dan 9,5 - 4,5	1451.9328
Superplasticizer	Pengganti 20% berat air



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Tahap I

Tahap pertama adalah tahap persiapan. Pada tahap ini peneliti menyiapkan material dan peralatan yang akan digunakan. Material yang disiapkan pada penelitian ini adalah semen PCC, agregat kasar ukuran 12,5 – 9,5 mm, dan air. Peralatan yang disiapkan pada penelitian ini adalah mixer, bekisting, slump cone, batang penumbuk, dan gelas ukur. Selain penyiapan material dan peralatan, pada tahap ini peneliti mengumpulkan studi literatur yang berfungsi sebagai acuan dalam melakukan perencanaan komposisi yang akan digunakan nanti.

Tahap II

Tahap kedua adalah penyaringan dan pengujian agregat. Pada tahap ini dilakukan penyaringan agregat terlebih dahulu. Penyaringan dilakukan untuk mendapatkan agregat dengan ukuran yang telah direncanakan. Penyaringan dilakukan dengan menggunakan alat *sieve shaker*. Setelah melakukan penyaringan agregat yang telah didapatkan diuji untuk mendapatkan properties dari agregat tersebut. Properties yang diambil pada penelitian ini adalah berat agregat

Tahap IV

Tahap keempat adalah pengecoran. Pengecoran dilakukan dilaboratorium Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

Langkah pertama pengecoran adalah dengan mencampur material yang sudah disiapkan yaitu air, semen, agregat kasar ukuran 12,5 – 9,5 mm. Material yang sudah disiapkan dicampur dengan menggunakan molen hingga tercampur secara merata. Setelah material tersebut tercampur merata, lakukan pengujian slump. *Pervious concrete* memiliki nilai slump yang sangat kecil bahkan 0 dikarenakan nilai w/c yang kecil. Setelah dilakukan pengujian slump test masukkan benda uji kedalam bekisting silinder yang sudah disiapkan. Benda uji dilakukan pemadatan dengan menggunakan tongkat pemadat. Masukkan benda uji sampai 1/3 dari volume silinder kemudian dilakukan penusukan sebanyak 25 kali. Penusukan juga dilakukan pada saat volume 2/3 dan penuh. Ketika benda uji sudah terisi penuh di bekisting, selanjutnya bagian atas silinder diratakan dengan menggunakan tongkat pemadat. Pemerataan bagian atas silinder dilakukan dengan cara menggulirkan tongkat pemadat di bagian atas silinder hingga rata. Hal ini dilakukan agar permukaan atas silinder rata.

Langkah selanjutnya melakukan prosedur curing. Pada penelitian ini metode curing yang dilakukan ada dua, yaitu metode steam dan metode pembasahan dengan menggunakan karung goni. Untuk metode pembasahan dilakukan dengan menggunakan karung goni. Pertama karung goni dibasahi terlebih dahulu, kemudian beton diselimuti menggunakan karung yang sudah dibasahi. Lalu diamkan selama 28 hari. Kemudian beton dilakukan pengujian kuat tekan. Pada metode *wrapping* beton dipercikkan air terlebih dahulu secara merata keseluruh permukaan kemudian beton dilapisi dengan menggunakan *wrapping* hingga seluruh permukaan beton tertutupi secara sempurna. Pada metode ambient beton di simpang di ruangan dengan suhu ruang tanpa dilapisi apapun.

Langkah selanjutnya adalah pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut

1. Pengujian kuat tekan, permeabilitas, porositas 28 hari setelah metode curing karung goni.
2. Pengujian kuat tekan, permeabilitas, porositas 28 hari setelah metode curing wrapping.
3. Pengujian kuat tekan, permeabilitas, porositas 28 hari setelah metode curing ambient.
4. Pengujian durabilitas menggunakan H₂SO₄. Pengujian ini dilakukan dengan cara merendam beton yang sudah mencapai umur 28 hari kedalam bak yang sudah berisi H₂SO₄ dengan konsentrasi yang sudah ditentukan.

Pengujian durabilitas dilakukan dengan cara merendam benda uji menggunakan 2%, 4%, dan 6% H₂SO₄. Setiap pengujian membutuhkan 3 buah sampel benda uji, sehingga total benda uji yang digunakan sebanyak 72 buah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Kasar

1. Pemeriksaan Berat Volume

Dari pengujian ini didapatkan nilai berat volume kondisi padat 1,406 kg/liter dan kondisi gembur 1,301 kg/liter

2. Pemeriksaan *Specific Gravity* dan Penyerapan

Nilai yang didapatkan pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 3 Hasil pengujian agregat kasar

Parameter	Hasil
<i>Bulk Specific Gravity</i> (Kondisi Kering)	2,707
<i>Bulk Specific Gravity</i> (Kondisi SSD)	2,496
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,574
Persentase Penyerapan Air (%)	3,123

Pengujian *Pervious Concrete*

Pada penelitian ini, ada beberapa pengujian yang dilakukan yaitu, pengujian kuat tekan, pengujian porositas, dan pengujian permeabilitas. Penelitian ini lebih difokuskan untuk mengetahui durabilitas dari *pervious concrete* terhadap H₂SO₄.

Pengujian Densitas

Pada penelitian ini nilai densitas didapatkan dengan cara menimbang benda uji menggunakan timbangan digital. Kemudian nilai yang didapatkan dibagi dengan volume silinder dari benda uji tersebut. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 4 Hasil Pengujian Densitas

Variasi Agregat	Densitas Rata-rata (Kg/m ³)		
	Variasi Curing		
	Karung Goni	Plastic Wrap	Ambient
19 - 12,5 mm	1757,76	1766,33	1746,61
9,5 - 4,75 mm	1759,42	1801,42	1735,79

Pengujian Kuat Tekan

Hasil dari pengujian kuat tekan pada penelitian ini ditunjukkan pada tabel 5 di bawah. Sampel *pervious concrete* yang digunakan adalah sampel yang sudah dilakukan curing terlebih dahulu dan sudah mencapai umur 28 hari. Curing yang dilakukan pada penelitian ini ada 3 yaitu, curing menggunakan karung goni, wrapping, dan ambient.

Tabel 5 Hasil pengujian kuat tekan sebelum perendaman

Variasi Agregat	Kuat Tekan Rata-rata (MPa)		
	Variasi Curing		
	Karung Goni	Plastic Wrap	Ambient
19 - 12,5 mm	3,587	3,770	3,503
9,5 - 4,75 mm	6,933	8,300	6,197

Pada tabel 5 variasi curing karung goni menghasilkan nilai tertinggi yaitu sebesar 6,933 MPa, curing plastic wrap menghasilkan nilai tertinggi yaitu sebesar 8,3 MPa, dan curing ambient menghasilkan nilai tertinggi yaitu sebesar 6,197 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa metode curing plastic wrap merupakan metode yang terbaik diantara metode yang lainnya. Nilai kuat tekan yang didapatkan di penelitian ini juga dipengaruhi oleh variasi agregat yang digunakan. Variasi agregat ukuran besar menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan variasi agregat berukuran kecil. Hal ini disebabkan oleh agregat berukuran kecil membentuk ikatan yang lebih padat dan rongga yang terbentuk juga lebih sedikit sehingga menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih tinggi.

Pengujian Permeabilitas

Pada penelitian ini pengujian permeabilitas dilakukan dengan menggunakan alat falling head permeameter yang menganut standar ACI 522R-10. Pengujian ini dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Variasi ukuran agregat dan durabilitas H_2SO_4 dapat mempengaruhi nilai hasil pengujian permeabilitas pada penelitian ini. Berdasarkan ACI 522R-10 nilai permeabilitas juga mempengaruhi porositas dalam pervious concrete.

Tabel 6 Tabel hasil pengujian permeabilitas

Variasi Agregat	Permeabilitas Rata-rata (cm/s)		
	Variasi Curing		
	Karung Goni	Plastic Wrap	Ambient
19 - 12,5 mm	1,480	1,475	1,485
9,5 - 4,75 mm	1,032	1,017	1,062

Dari tabel 6, nilai permeabilitas yang didapatkan dipengaruhi oleh variasi agregat yang digunakan, namun tidak terlalu dipengaruhi oleh variasi curing yang digunakan. Variasi agregat 19 - 12,5 mm menghasilkan nilai permeabilitas yang lebih besar dibandingkan variasi agregat 9,5 - 4,75 mm. Nilai terbesar yang didapatkan pada variasi 19 - 12,5 mm sebesar 1,485 cm/s dan nilai terbesar yang didapatkan pada variasi 9,5 - 4,75 mm sebesar 1,062 cm/s. Sampel yang menggunakan variasi agregat besar memiliki rongga yang lebih besar dibandingkan sampel yang menggunakan variasi agregat

kecil. Rongga yang besar ini menyebabkan air dapat melewatinya. Hal ini mengakibatkan perbedaan nilai yang cukup besar. Nilai permeabilitas ini berbanding terbalik apabila dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang didapatkan, dimana nilai kuat tekan semakin rendah apabila rongga yang tercipta semakin besar.

Pengujian Porositas

Pada penelitian ini pengujian porositas dilakukan Berdasarkan ACI 522R-10 pervious concrete memiliki nilai porositas berkisar antara 15% - 35%.

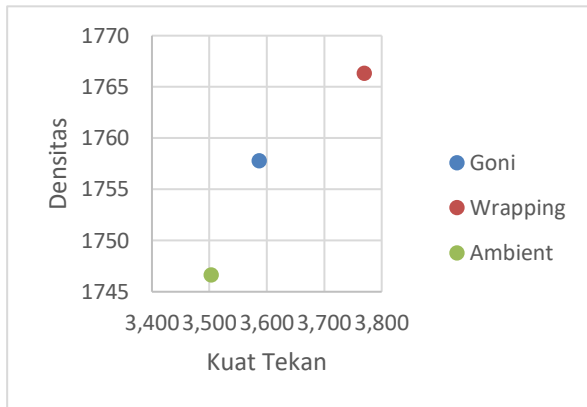
Tabel 7 Tabel hasil pengujian porositas

Variasi Agregat	Porositas Rata-rata (%)		
	Variasi Curing		
	Karung Goni	Plastic Wrap	Ambient
19 - 12,5 mm	28,351	28,130	28,981
9,5 - 4,75 mm	26,141	25,632	27,689

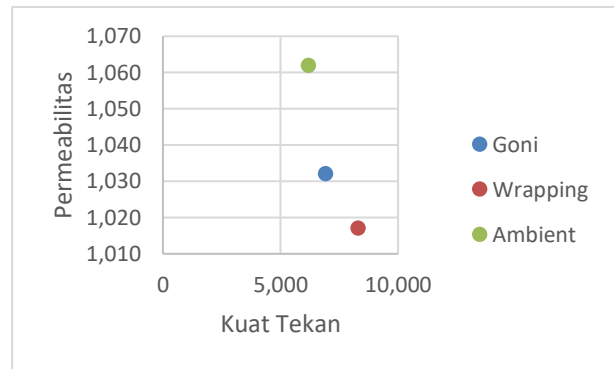
Berdasarkan tabel 7, Penggunaan dua variasi agregat yang berbeda pada penelitian ini menunjukkan bahwa ukuran agregat yang digunakan dalam pengecoran pervious concrete dapat mempengaruhi nilai porositas beton tersebut, yang dimana semakin besar ukuran agregat tersebut maka semakin besar pula nilai porositas yang dihasilkan begitupula sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh agregat yang memiliki ukuran besar dapat menciptakan rongga yang besar karena agregat tersebut tidak dapat mengisi satu sama lain dan hal ini dapat menyebabkan air masuk ke dalamnya. Agregat yang memiliki ukuran lebih kecil dapat mengisi satu sama lain sehingga rongga yang terbentuk juga kecil. Pada penelitian ini nilai porositas yang didapatkan sudah sesuai dengan standar ACI 522R-10 yang dimana nilai porositas tertinggi yang didapatkan adalah 33,336% dan nilai porositas terendah yang didapatkan adalah 25,632%.

Hubungan Kuat Tekan dan Densitas

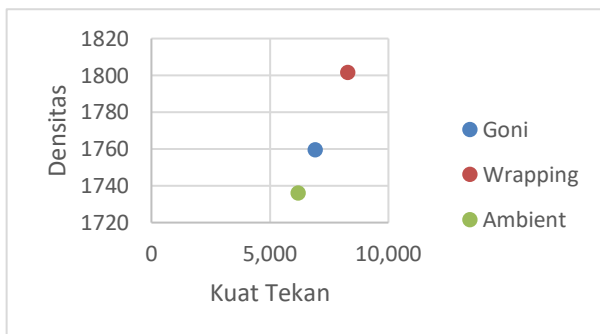
Pada penelitian ini nilai kuat tekan dan densitas yang didapatkan berbanding lurus. Dilihat dari grafik dibawah hasil kuat tekan yang didapatkan baik pada agregat besar ataupun agregat kecil memiliki nilai yang tinggi sehingga hasil dari densitas yang didapatkan juga memiliki nilai yang tinggi. Hal ini dapat terjadi diakibatkan pervious concrete yang memiliki nilai densitas yang besar menunjukkan pervious concrete tersebut padat karena rongga udara yang terdapat sedikit. Semakin meningkat nilai densitas yang didapat maka rongga udara yang terdapat juga akan semakin sedikit.



Gambar 2 Grafik hubungan kuat tekan dan densitas menggunakan agregat berukuran 19 – 12,5 mm



Gambar 5 Grafik hubungan kuat tekan dan permeabilitas menggunakan agregat berukuran 9,5 - 4,75 mm



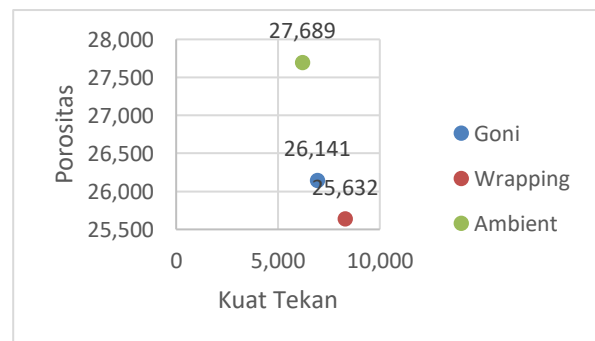
Gambar 3 Grafik hubungan kuat tekan dan densitas menggunakan agregat berukuran 9,5 - 4,75 mm

Hubungan Kuat Tekan dan Porositas

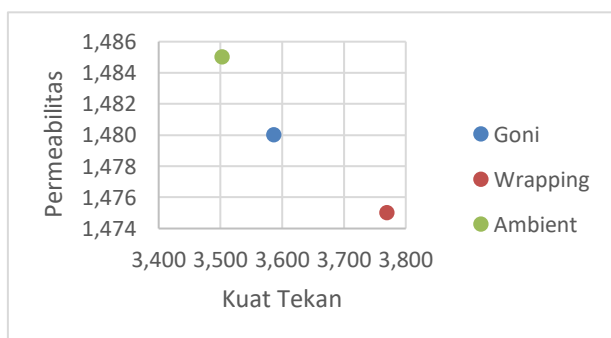
Pada penelitian ini nilai kuat tekan dan permeabilitas yang didapatkan berbanding terbalik. Dilihat dari grafik dibawah hasil kuat tekan yang didapatkan pada penelitian ini semakin tinggi seiring dengan nilai porositas yang semakin menurun. Hal ini dapat terjadi diakibatkan pervious concrete yang memiliki porositas yang tinggi menunjukkan pervious concrete tersebut memiliki persentase rongga yang besar sehingga hal tersebut dapat mempengaruhi nilai kuat tekan yang didapat.

Hubungan Kuat Tekan dan Permeabilitas

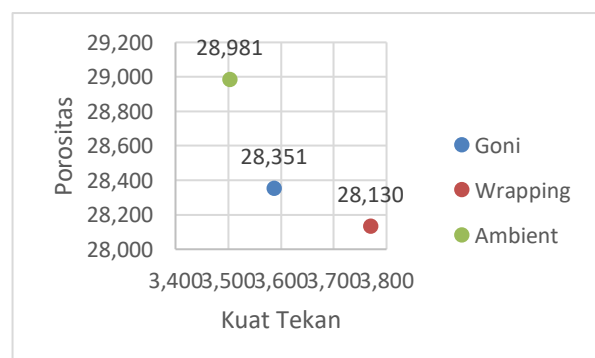
Pada penelitian ini nilai kuat tekan dan permeabilitas yang didapatkan berbanding terbalik. Dilihat dari grafik dibawah hasil kuat tekan yang didapatkan pada penelitian ini memiliki nilai yang tinggi sehingga nilai dari permeabilitas yang didapatkan memiliki nilai yang rendah. Hal ini dapat terjadi diakibatkan pervious concrete yang memiliki permeabilitas yang tinggi menunjukkan pervious concrete tersebut memiliki rongga yang besar sehingga menurunkan nilai kuat tekan.



Gambar 6 Grafik hubungan kuat tekan dan porositas menggunakan agregat berukuran 19 – 12,5 mm



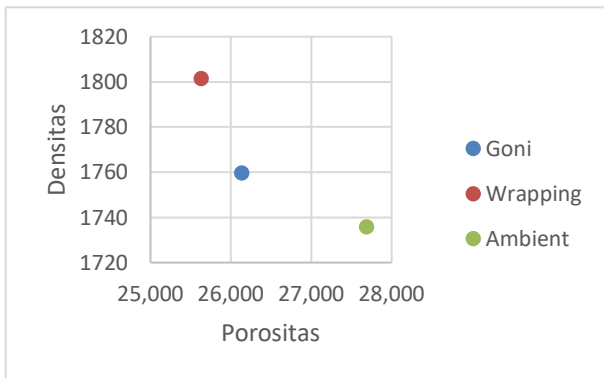
Gambar 4. Grafik hubungan kuat tekan dan permeabilitas menggunakan agregat berukuran 19 - 12,5 mm



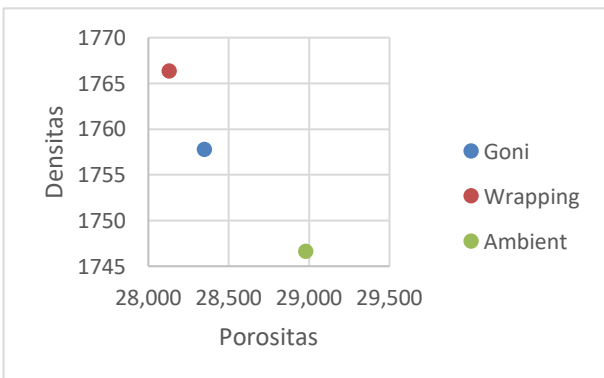
Gambar 7 Grafik hubungan kuat tekan dan porositas menggunakan agregat berukuran 9,5 - 4,75 mm

Hubungan Densitas dan Porositas

Pada penelitian ini densitas dan porositas yang didapatkan menghasilkan hubungan yang terbalik. Semakin tinggi nilai porositas yang didapatkan maka semakin kecil nilai densitas yang didapatkan. Hal ini terjadi diakibatkan tingginya nilai porositas menunjukkan persentase pori yang ada pada pervious concrete tersebut banyak sehingga densitas yang didapat rendah.



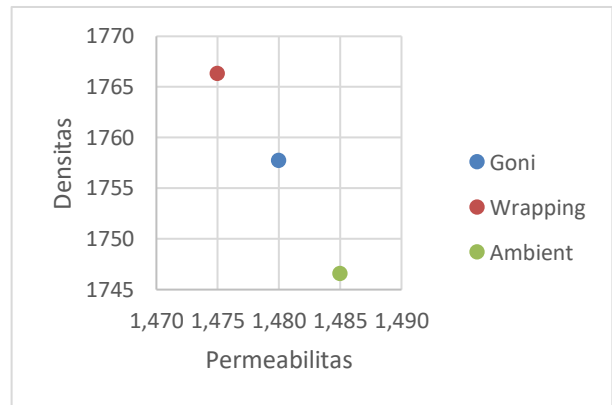
Gambar 8 Grafik hubungan porositas dan densitas menggunakan agregat berukuran 19 - 12,5 mm



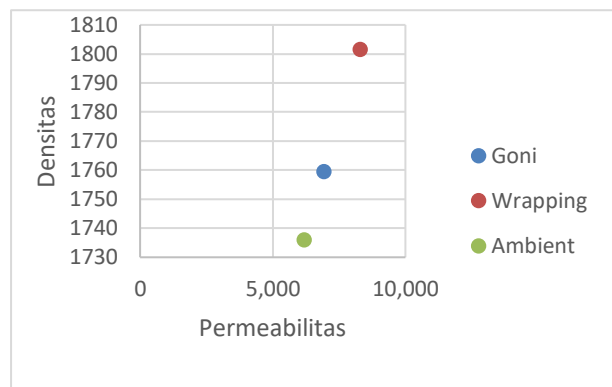
Gambar 9 Grafik hubungan porositas dan densitas menggunakan agregat berukuran 9,5 4,75 mm

Hubungan Densitas dan Permeabilitas

Pada penelitian ini densitas dan permeabilitas yang didapatkan menghasilkan hubungan yang terbalik. Semakin tinggi nilai permeabilitas yang didapatkan maka semakin kecil nilai densitas yang didapatkan. Hal ini terjadi diakibatkan tingginya nilai permeabilitas menunjukkan pervious concrete tersebut memiliki banyak rongga sehingga densitas semakin rendah.



Gambar 10 Grafik hubungan permeabilitas dan densitas menggunakan agregat berukuran 19 - 12,5 mm



Gambar 11 Grafik hubungan permeabilitas dan densitas menggunakan agregat berukuran 9,5 - 4,75 mm

Pengujian Durabilitas

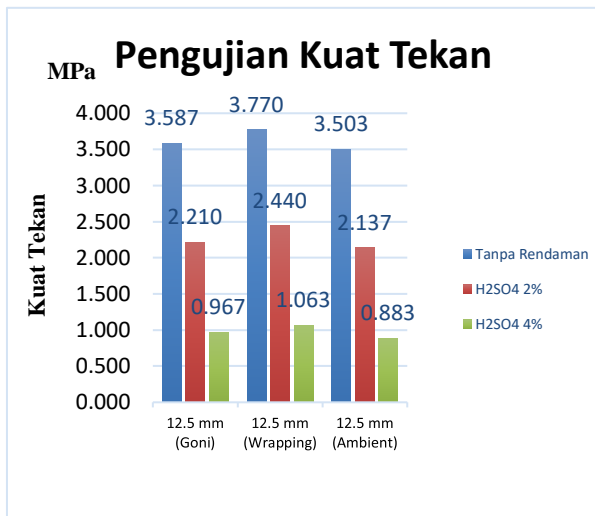
Dalam membuat suatu campuran beton durabilitas dari beton tersebut merupakan hal penting yang harus diperhatikan. Dalam penelitian ini pengujian durabilitas beton yang dilakukan adalah durabilitas pervious concrete terhadap asam sulfat. Pengujian ini dilakukan dengan merendam beton pada larutan H₂SO₄ dengan konsentrasi yang bervariasi yaitu 2%, 4%, dan 6%. Pengujian ini dilakukan selama 7 hari setelah umur benda uji mencapai 28 hari.

Hubungan Kuat Tekan dan Konsentrasi H₂SO₄

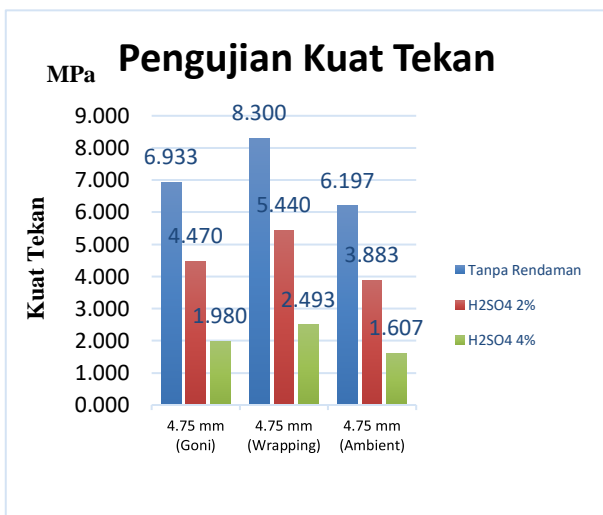
Pengujian kuat tekan ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan yang terjadi. Pengujian ini dilakukan dengan merendam pervious concrete pada larutan H₂SO₄ dengan konsentrasi yang bervariasi yaitu 2%, 4%, dan 6%.

Nilai kuat tekan tertinggi yang dihasilkan pada konsentrasi 2% yaitu 2,440 MPa untuk variasi agregat besar, dan 5.440 MPa untuk variasi agregat kecil. Pada konsentrasi 4% nilai kuat tekan tertinggi yang dihasilkan yaitu 1,063 MPa untuk variasi agregat besar dan 2,493 MPa untuk variasi agregat kecil. Sedangkan nilai kuat tekan yang dihasilkan dari variasi rendaman H₂SO₄

dengan konsentrasi 6% tidak memiliki nilai dikarenakan beton hancur saat dilakukan perendaman.



Gambar 13 Grafik penurunan nilai kuat tekan *pervious concrete* menggunakan agregat berukuran 19 – 12,5 mm akibat H_2SO_4



Gambar 14 Grafik penurunan nilai kuat tekan *pervious concrete* menggunakan agregat berukuran 9,5 – 4,75 mm akibat H_2SO_4

Berdasarkan gambar 14 apabila nilai kuat tekan ini dibandingkan dengan nilai kuat tekan tanpa pengujian durabilitas, nilai kuat tekan yang dihasilkan pada variasi agregat besar konsentrasi 2% mengalami penurunan sebesar 37,507% dan konsentrasi 4% mengalami penurunan sebesar 73,173%, sedangkan untuk variasi agregat kecil konsentrasi 2% mengalami penurunan sebesar 35,6354% dan konsentrasi 4% mengalami penurunan sebesar 71,6285%. Penurunan nilai kuat tekan yang terjadi terbilang cukup besar. Hal ini terjadi akibat kandungan asam pada larutan merusak ikatan antara binder dan agregat. Secara fisik yang dapat dilihat dari mata, binder pada sampel mengalami perubahan warna

menjadi putih dan binder menjadi rontok.

Penelitian durabilitas ini dilakukan berdasarkan beberapa penelitian terdahulu yang membahas durabilitas beton normal terhadap larutan asam sulfat. Salah satu penelitian terdahulu yang membahas mengenai durabilitas asam terhadap beton normal adalah Sultan et. al (2021). Nilai kuat tekan pada beton normal yang direndam larutan asam sulfat konsentrasi 2% selama 2 bulan mengalami penurunan sebesar 30,58%. Sedangkan nilai kuat tekan pada beton 20% fly ash mengalami penurunan sebesar 26,80% pada waktu 2 bulan. Bila dibandingkan dengan *pervious concrete* nilai yang didapatkan jauh berbeda, dimana dalam kurun waktu 1 minggu *pervious concrete* sudah mengalami penurunan diatas 35% untuk konsentrasasi 2%.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Kesimpulan yang dapat ditarik dari pengujian kuat tekan, permeabilitas, dan porositas pada konsentrasi H_2SO_4 0 % adalah sebagai berikut:
 - Variasi curing dapat mempengaruhi nilai kuat tekan, permeabilitas, dan porositas dari *pervious concrete*. Dalam penelitian ini variasi curing yang memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu curing menggunakan plastic wrap dengan nilai sebesar 8.3 MPa.
 - Variasi ukuran agregat memiliki pengaruh paling besar dalam penelitian ini. Variasi ukuran agregat mempengaruhi nilai dari kuat tekan, porositas, dan permeabilitas.
 - Nilai kuat tekan berbanding terbalik dengan nilai porositas dan permeabilitas. Semakin tinggi nilai porositas dan permeabilitas maka semakin rendah nilai kuat tekan yang didapat. Hal ini disebabkan oleh nilai porositas yang tinggi mengartikan persentasi rongga yang ada pada sampel. Semakin banyak rongga pada sampel maka ikatan yang terjadi pada sampel juga semakin lemah.
- Dalam pengujian ketahanan *pervious concrete* terhadap H_2SO_4 konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini adalah 2%, 4% dan 6%.
 - Penggunaan variasi ukuran agregat yang kecil dalam pengujian durabilitas *pervious concrete* dapat memperkecil penurunan nilai kuat tekan yang terjadi. Hal ini dikarenakan variasi agregat ukuran yang kecil memiliki rongga yang lebih sedikit sehingga larutan asam yang masuk juga sedikit.
 - Semakin tinggi nilai konsentrasi larutan H_2SO_4 maka semakin lemah nilai kuat tekan yang dihasilkan. Pada konsentrasi 6% dalam pengujian durabilitas *pervious concrete* terhadap asam sulfat menyebabkan sampel hancur total. Serangan dari sulfat dapat merusak ikatan semen dan air sehingga ikatan binder dan agregat pun ikut rusak.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI. (2010). Report on Pervious Concrete, ACI 522R-10. *American Concrete Institute*, 10(Reapproved), 42.
- Adhitya, B. B., Saggaff, A., Dwi, D., & Putranto, A. (2022). *The Effect Of Porous Concrete With Artificial Aggregate Handling On Erosion Reduction In Slope*. 22(91), 80–86.
- Chambua, S. T., Jande, Y. A. C., & Machunda, R. L. (2021). Strength and Durability Properties of Concrete Containing Pumice and Scoria as Supplementary Cementitious Material. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5578870>
- Desmaliana, E., Herbudiman, B., & Lesmana, R. (2018). Kajian Eksperimental Sifat Mekanik Beton Porous Dengan Variasi Faktor Air Semen. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 19–29.
- Ginting, A. (2017). Pengaruh Rasio Agregat Semen Dan Faktor Air Semen Terhadap. *Jurnal Teknik*, 5(April 2015), 1–85.
- Hanova, Y., Franchitika, R., & Nanda, N. (2018). Pengaruh Campuran Gradasi Agregat Terhadap Permeabilitas Beton Porous Pada Aplikasi Lantai Laboratorium. *Reviews in Civil Engineering*, 2(2), 86–89. <https://doi.org/10.31002/rice.v2i2.945>
- Irawan, S. R. (2014). Pemanfaatan Limbah Kulit Kerang Sebagai Substitusi Pasir dan Abu Ampas Tebu Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Beton Mutu K-225. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 308–313.
- Joshi, T., & Dave, U. (2016). Evaluation of strength, permeability and void ratio of Pervious concrete with changing W/C ratio and aggregate size. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(4), 276–284.
- Kurniawan, S. (2016). Analisa Perawatan Beton Cetak Menggunakan Uap. *Tapak*, 5(166), 98–107.
- Sultan, M. A., Imran, I., & Faujan, M. (2021). Pengaruh Rendaman Asam Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Penambahan Fly Ash. *Teras Jurnal*, 11(1), 61. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i1.367>